

E Neuentwicklungen bei Zylinderheizungen

Karl-W. Körzel

WEMA Beheizungstechnik GmbH, Lüdenscheid

Robert Michels

ETA Kunststofftechnologie GmbH, Troisdorf

Beitrag zur

7. Fachtagung 'Neuigkeiten in der Extrusion', 05.-06. Juni 2002

Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, Würzburg

Neuentwicklungen bei Zylinderheizungen

Das Thema dieser Fachtagung lautet: „Neuigkeiten in der Extrusion“.

Keineswegs neu ist jedoch, dass für sämtliche Prozesse zunächst die erforderliche Betriebstemperatur erreicht werden muss.

Egal, ob es sich um einen einfachen oder komplizierten Extrusionsvorgang handelt, den Beginn stellt das Aufheizen dar, worauf im folgenden näher eingegangen wird.

Beheizung und Kühlung von Extruderzylindern – In der Praxis eingesetzte Systeme

Zur abschnittswisen Temperierung von Extruderzylindern, bei Einschneckenextrudern und Doppelschneckenextrudern, werden heute im Allgemeinen sogenannte ‘Heiz-/Kühl-Einheiten’ oder ‘Heiz-/Kühl-Kombinationen’ eingesetzt, bei denen die Beheizung über elektrische Widerstandsheizungen und die Kühlung durch Anblasen des Zylinders mit Luft erfolgen.

Mit der Heizung wird der Extruderzylinder vor den Anfahren der Anlage auf Betriebstemperatur gebracht und - sofern notwendig - während des Betriebs weitere Prozesswärme zugeführt. In vielen Fällen ist während des Betriebs aber auch eine Wärmeabfuhr erforderlich, beispielsweise um die Schmelzetemperatur zu senken. Dazu dient die Kühlfunktion.

Die einfachste Bauform eines solchen Heiz-/Kühl-Systems (Bild 1) besitzt mehrere, elektrisch parallel geschaltete, schmale, ringförmige Keramik- oder Mikanit-Heizbänder, die direkt auf den Zylinder gespannt werden. Zur Kühlung des Zylinderabschnitts wird der Luftstrom eines Gebläses innerhalb eines Blechgehäuses um den Zylinder geleitet.

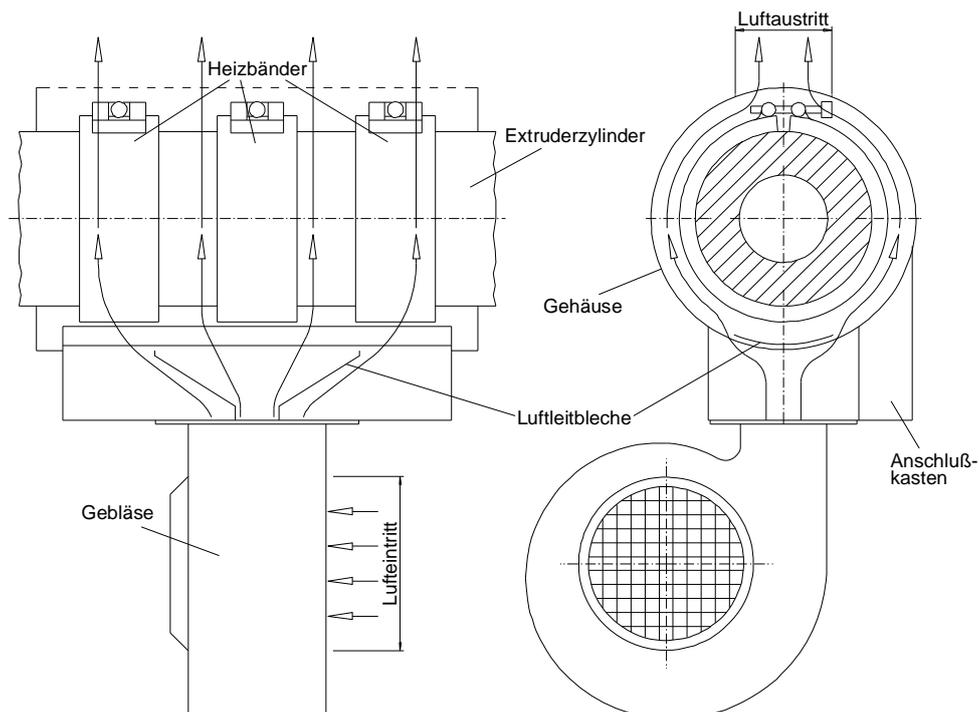


Bild 1: Prinzipdarstellung einer Standard-Heiz-/Kühl-Einheit
7. Fachtagung ‘Neuigkeiten in der Extrusion’, 05.-06. Juni 2002
Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, Würzburg

Weil eine wirksame Kühlung des Zylinders nur in den schmalen freien Flächen zwischen den Heizbändern erfolgt (die Heizbänder sind recht gute Wärmeisolatoren), ist die Kühlleistung einer Standard-Heiz-/Kühl-Einheit nicht sehr groß. Eine deutliche Verbesserung wird durch eine Vergrößerung der von der Kühlluft umströmten Oberfläche erreicht. Dazu werden Kupferbügel, gezahnte Messing- oder Kupferbleche oder mit Fähnchen versehene Aluminiumschalen mit schmalen Heizbändern um den Zylinder gespannt (Bild 2). Auf dem Markt finden sich eine Vielzahl solcher Systeme mit herstellerspezifischen Unterschieden im Detail. Mit den gut wärmeleitenden Zusatzteilen wird die Wärme auch unter den Heizbändern effizient abgeleitet und von der großen Oberfläche der freistehenden Bügel oder Rippen besser an den Kühlluftstrom abgegeben.

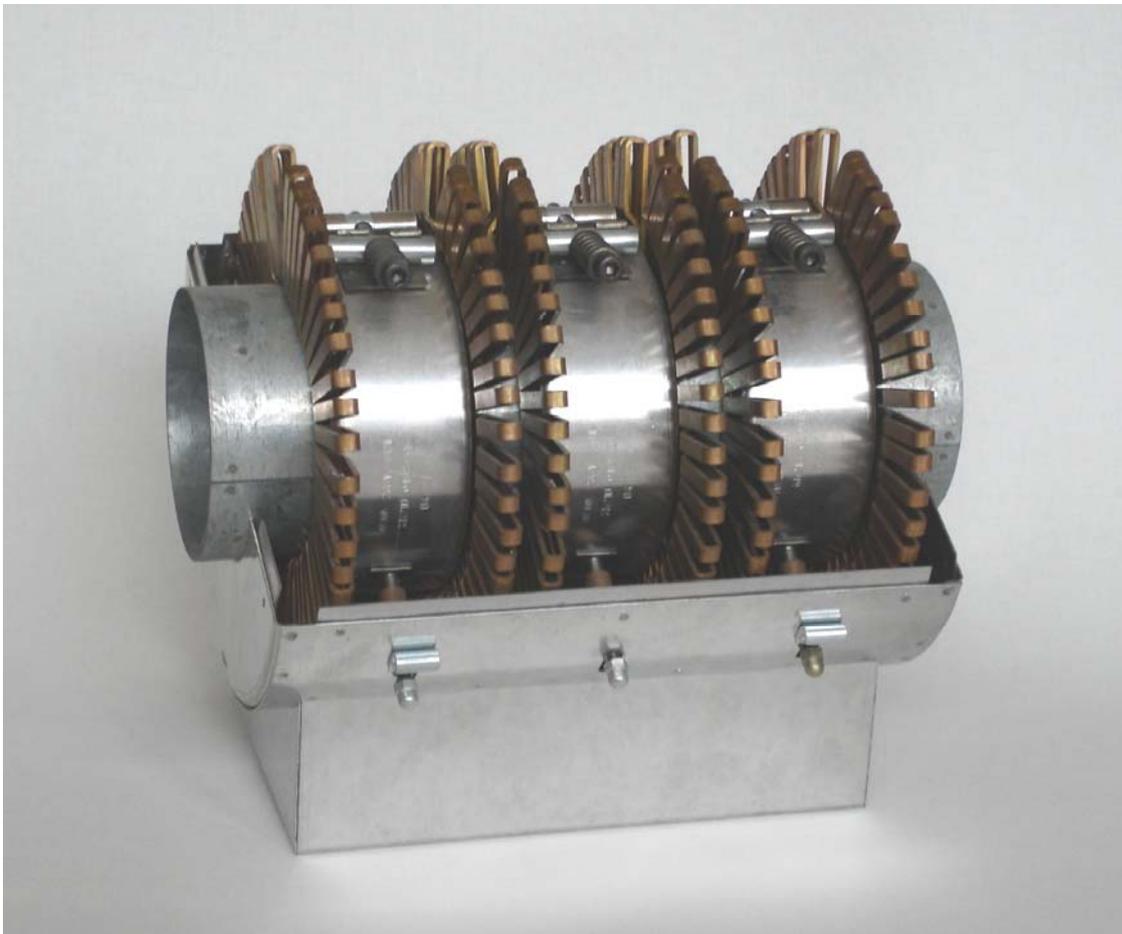


Bild 2: Heiz-/Kühl-Kombination mit Kupferbügeln, Bauart HK 212 (WEMA GmbH)

Eine häufig eingesetzte, gute Alternative zu diesen Systemen sind massive, in Umfangsrichtung mit Rippen versehene Aluminiumhalbschalen, die zwischen den Heizbändern auf den Extruderzylinder gespannt werden (Bild 3).



Bild 3: Heiz-/Kühl-Einheit mit gerippten Aluminium-Ringen (Reifenhäuser, Troisdorf)

Auch bei den Gehäusen gibt es einige unterschiedliche Lösungen. Oft mit einer Isolierung, die den Berührungsschutz verbessert und Energieverluste in Heizphasen minimiert.

Ein völlig anderer, besonders bei amerikanischen Maschinenherstellern beliebter Ansatz verzichtet auf Luft als Kühlmedium. Hierbei findet entkalktes Druckwasser oder ein Wärmeträgeröl Verwendung. Die Flüssigkeit wird durch Rohrleitungen gepumpt, die in wendelförmig gefräste Nuten am Extruderzylinder eingelegt werden oder in Aluminiumhalbschalen eingegossen sind, die um den Zylinder gespannt werden.

Man erzielt auf diese Weise sehr hohe Kühlleistungen und reduziert Abwärme und Luftbewegungen (Staubaufwirbelung) in der Umgebung des Extruders, allerdings mit höherem Aufwand und größerem Wartungsbedarf.

Anforderungen an Heiz-/Kühl-Einheiten

Heiz-/Kühl-Einheiten werden heute an fast allen Extrudern eingesetzt. Es gibt nur wenige Ausnahmen, bei denen auf eine Kühlmöglichkeit am Zylinder verzichtet wird bzw. verzichtet werden kann. Typische Anforderungen in der Praxis sind:

- einfache und schnelle Erstmontage
- stabiler Aufbau
- ausreichend hohe Heizleistung
- ausreichend hohe Kühlleistung
- Berührungsschutz (heiße Oberflächen und elektrische Anschlüsse)
- Wartungsfreiheit, oder zumindest einfache Wartung und Ersatzteilhaltung

- lange Lebensdauer der Heizbänder
- lange Lebensdauer der Kühlelemente und des Gehäuses (kein Verzundern oder Korrosion, auch bei aggressiven Umgebungsbedingungen, z.B. PVC-Staub)
- einfache Demontage (z.B. zum Auswechseln defekter Heizbänder)

Die Herausforderung bei der Entwicklung und Herstellung von Heiz-/Kühl-Einheiten besteht heute darin, eine möglichst kostengünstige Lösung zu finden, die die Anforderungen in dem für den jeweiligen Einzelfall notwendigen Maße erfüllt. Annähernd 'optimale' Lösungen sind konstruktiv zwar möglich, wie viele sehr interessante Konzepte in der Patentliteratur zeigen, aber für die Praxis in der Regel zu aufwändig und zu teuer.

Die Konzentrierung auf die Kostenaspekte ist charakteristisch für den Markt dieser Bauteile. Die Qualität der technischen Lösung steht leider in vielen Fällen nicht im Vordergrund. So lange z.B. die Kühlleistung einer Heiz-/Kühl-Einheit nicht einen kritischen Engpaß für den gesamten Prozeß darstellt, liegen die Prioritäten der Maschinenhersteller und Kunststoffverarbeiter meistens zunächst in anderen Bereichen des Extruders bzw. der kompletten Verarbeitungsanlage, beispielsweise bei der Schneckenauslegung und der Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik.

Niedrige Fertigungskosten lassen sich nur über große Stückzahlen erreichen. Bei Extrudern gibt es jedoch eine Vielzahl von Zylinderdurchmessern und Zonenlängen, die zu berücksichtigen sind. Und auch die oben genannten Anforderungen z.B. bezüglich der benötigten Heiz- und Kühlleistungen sind sehr verschieden. Daher können sich nur modulare Lösungen behaupten, bei denen die Heiz-/Kühl-Einheiten aus einem Baukasten weniger, einfacher Teile aufgebaut werden. Der Wettbewerb erfordert dabei die Analyse und Optimierung aller Details. Das reicht von der Materialauswahl der Gehäusebleche bis hin zur Festlegung der Position der Thermofühler für die Temperaturregelung (Die Bohrung für einen Fühler in einem Heizband ist teurer als ein Fühler zwischen den Heizbändern).

Gleichmäßige Kühlwirkung über dem Zylinderumfang

Eine besondere Anforderung ist die Gleichmäßigkeit der Kühlwirkung über dem Zylinderumfang. Bei einer ungleichmäßigen Kühlung stellen sich unterschiedliche Temperaturen und damit unterschiedliche Wärmeausdehnungen über dem Umfang ein, die zu einem Verbiegen des Extruderzylinders führen. Dadurch besteht die Gefahr, dass Schneckenstege und Zylinderbohrung bereichsweise einer wesentlich höheren Flächenpressung ausgesetzt werden und der Verschleiß zunimmt.

Der quantitative Zusammenhang zwischen den Temperaturunterschieden und dem dadurch erhöhten Verschleiß ist sehr komplex und wird u.a. entscheidend von dem verarbeiteten Po-

lymer und eventuell vorhandenen Zuschlagstoffen beeinflusst. Zulässige Temperaturunterschiede über dem Zylinderumfang werden auf der Basis langjähriger Erfahrungen festgelegt. Typisch sind z.B. Forderungen nach Unterschieden kleiner 5 bis 10°C bei maximaler Kühlleistung, d.h. maximalem Kühlluftdurchsatz. Weil die Temperaturunterschiede schwer messbar sind, geht man in der Praxis oft auch den Weg über die direkte Messung der Biegung am Ende des Extruderzylinders.

Für die gleichmäßige Kühlung des Zylinderumfangs gibt es einige technisch nahezu perfekte Lösungsvorschläge, beschrieben vor allem in verschiedenen Patentanmeldungen. Aufgrund des oben erläuterten Kostendrucks haben sich diese Ideen aber nicht durchgesetzt. Insbesondere ist die einfache Übertragbarkeit auf verschiedene Zylinderdurchmesser und Zonenlängen oftmals nicht gegeben.

Heutiger Stand der Technik - aber keinesfalls bei jedem Hersteller selbstverständlich - sind Luftleitbleche, mit denen eine bessere Verteilung der Kühlluft über der Länge der Zone gewährleistet und ein senkrechtetes Auftreffen der Luftströmung auf dem Zylinder verhindert werden (siehe Bild 1). Damit wird eine deutliche Verbesserung erreicht, die für viele Anwendungsfälle ausreichend ist.

Eine weitere, patentierte, Lösung wird von der Fa. Maillefer, Ecublens, eingesetzt [1]. Dabei wird der Kühlluftstrom zunächst in einem ringförmigen Luftkanal gleichmäßig auf dem Umfang in der Mitte der Heiz-/Kühl-Einheit verteilt, bevor er axial nach beiden Seiten durch das Gehäuse strömt (Bild 4). Das System besitzt außerdem Kupferbügel zur Verbesserung der Kühlleistung. Ein weiterer Vorteil in Heizphasen ist die Unterbindung von Wärmeverlusten und Temperaturunterschieden über dem Zylinderumfang, weil das in senkrechter Richtung geschlossene Gehäuse keine freie Konvektion von Luft durch die Einheit zulässt.

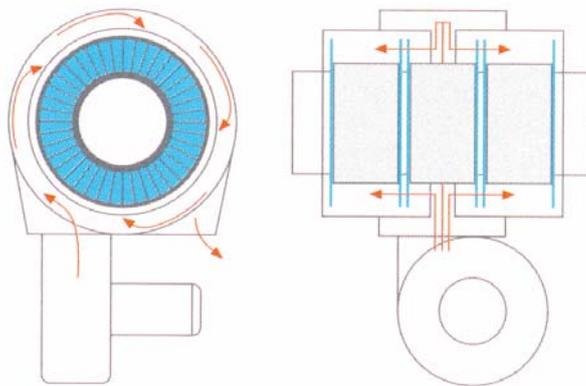
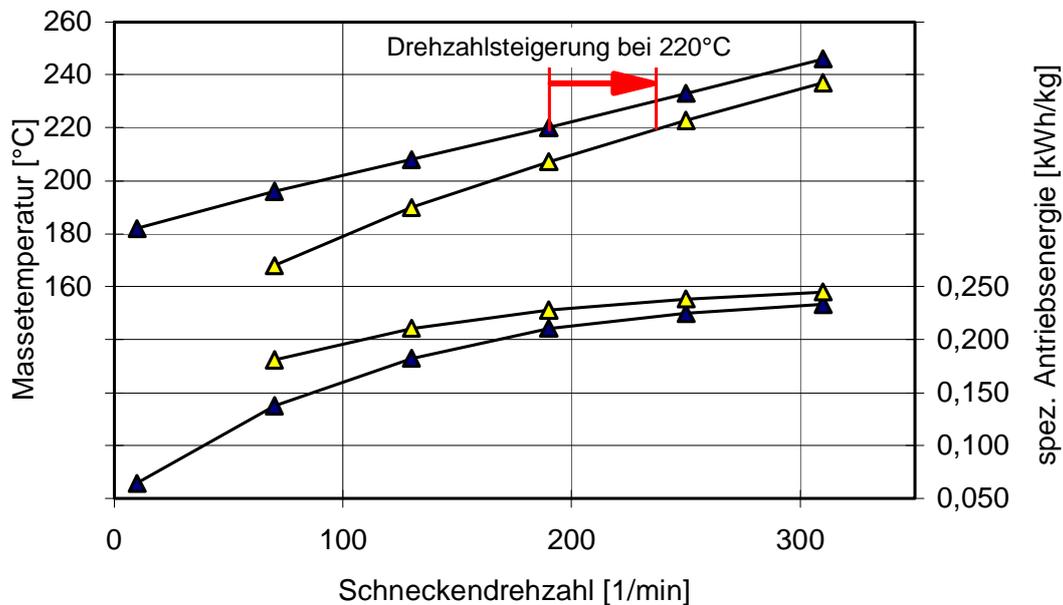


Bild 4: Heiz-/Kühl-Einheit mit axialer Luftumlenkung (Maillefer, Ecublens)

Verfahrenstechnische Grundlagen – Auswirkungen auf den Verarbeitungsprozess

Bei vielen Extrusionsprozessen wird der Extruderzylinder im Betrieb zumindest über einem Teil der Länge ständig gekühlt. Man verfolgt damit das Ziel, die Schmelztemperatur zu senken, um z.B. einem Materialabbau durch zu hohe Temperaturen vorzubeugen, die Schmelzesteifigkeit am Werkzeugaustritt zu erhöhen und/oder den Kühlbedarf in den Nachfolgeeinrichtungen zu senken. Dadurch werden bessere Produktqualitäten und höhere Durchsatzleistungen möglich.

In Bild 6 sind die Schmelztemperaturen dargestellt, die sich bei der Verarbeitung eines PE-LLD (Blasfolientyp) einstellen, wenn die beiden letzten Zylinderzonen des Extruders entweder mit einer moderaten Kühlung auf 180°C gehalten oder unter Ausnutzung der maximal möglichen Kühlleistung (Einschaltdauer der Gebläse 100%) intensiv gekühlt werden [2]. Anhand dieses Beispiels lassen sich einige wesentliche Zusammenhänge erläutern, die bei der Kühlung von Extruderzylindern zu beachten sind.



—▲— PE-LLD Zylindertemp. 180°C —▲— PE-LLD maximale Kühlleistung

Einschneckenextruder mit Barrierschnecke D = 50 mm, L = 28 D

Bild 6: Schmelztemperaturen und spezifische Antriebsenergien bei der Extrusion eines PE-LLD mit unterschiedlich intensiver Zylinderkühlung

Mit steigender Schneckendrehzahl und zunehmenden Massedurchsatz steigen die Schmelztemperaturen an. Die mit der intensiven Kühlung erreichbare Temperaturabsenkung wird geringer, weil die maximale Kühlleistung annähernd konstant ist, der gesamte Energieumsatz aber entsprechend dem Durchsatz zunimmt.

Setzt man eine Schmelztemperatur von 220°C als Grenze an, so erlaubt die intensive Kühlung eine Anhebung der Schneckendrehzahl um 26% von 190 auf 240 1/min bzw. eine deutliche Durchsatzsteigerung um 25% von 114 auf 142 kg/h.

Die Kühlung des Extruderzylinders ist zweifellos ein Energieverlust im Verarbeitungsprozess. Je stärker gekühlt wird desto schlechter wird der energetische Wirkungsgrad. Hierbei ist außerdem eine negative Rückkopplung zu beachten: Durch die niedrigere Schmelztemperatur an der Zylinderwand nimmt die Viskosität zu, mit der Folge eines höheren Antriebsenergiebedarfs am Schneckenpaar. In Bild 5 wird dieser Zusammenhang an den Verläufen der spezifischen Antriebsenergie deutlich, die beim Betrieb mit maximaler Kühlleistung höher liegt. Die intensive Kühlung eines Extruderzylinders führt somit nicht nur zu einem Energieverlust am Zylinder, sondern erfordert zusätzlich auch einen erhöhten Energieeinsatz über den Extruderantrieb.

In der Praxis sind diese energetischen Überlegungen meistens von untergeordneter Bedeutung. Eine intensive Zylinderkühlung ermöglicht deutliche Durchsatzsteigerungen oder z.B. auch eine flexiblere Nutzung von Extrudern zur Verarbeitung verschiedener Rohstoffe bei unterschiedlichen Schmelztemperaturen. Das sind erhebliche Vorteile, insbesondere auch Kostenvorteile, die der geringere energetische Wirkungsgrad nur wenig schmälert.

Wärmetechnische Grundlagen – Möglichkeiten zur Intensivierung der Kühlwirkung

Die Ansatzpunkte zur Intensivierung der Kühlwirkung von Heiz-/Kühl-Einheiten erschließen sich, wenn man die Größe der Widerstände betrachtet, die der Wärmestrom, der aus der Schmelze abgeführt wird, zu überwinden hat. Für eine konventionelle Heiz-/Kühl-Einheit mit Keramikheizbändern ist das in Bild 6 dargestellt.

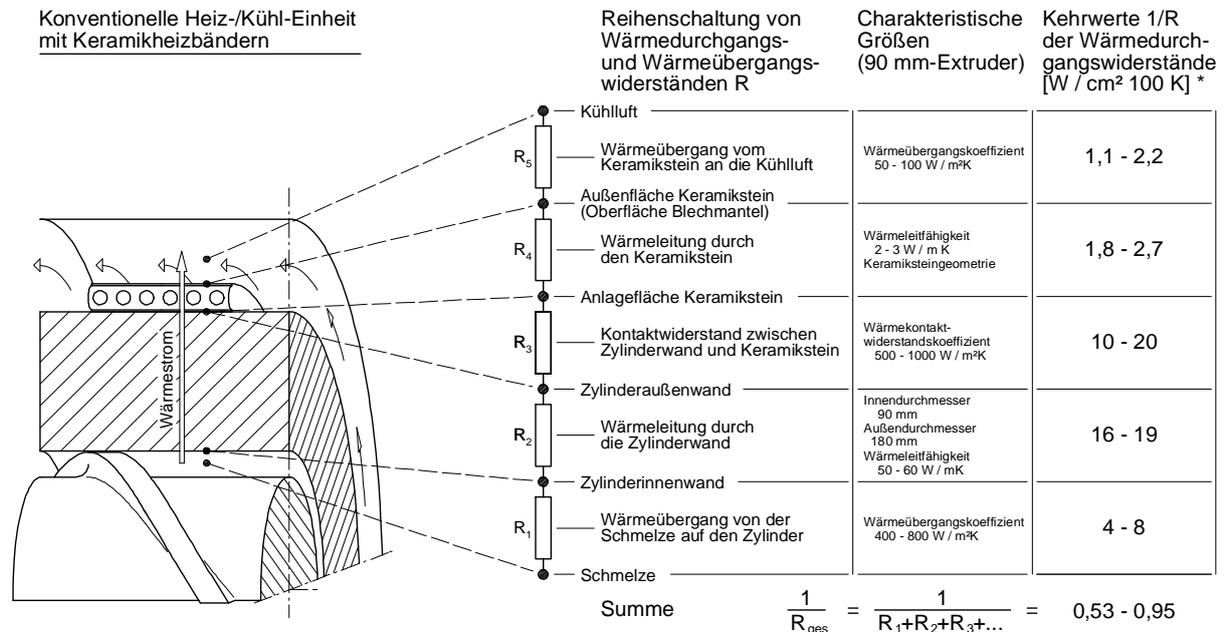


Bild 6: Wärmedurchgangswiderstände bei einer Heiz-/Kühl-Einheit

Es sind im Wesentlichen fünf Wärmeübergangs- und Wärmedurchgangswiderstände zu überwinden: Zunächst der Wärmeübergangswiderstand zwischen Schmelze und Zylinderinnenwand, dann die Wärmeleitung in der Zylinderwand, der Kontaktwiderstand zwischen Zylinderoberfläche und Keramikstein, die Wärmeleitung durch das Keramikheizband und schließlich der Wärmeübergang vom Heizband zur Kühlluft.

Wie bei elektrischen Widerstandsketten ergibt sich hier der gesamte Wärmedurchgangswiderstand R_{ges} als Summe der Einzelwiderstände R_1 bis R_5 :

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

In Bild 6 sind für die Kehrwerte 1/R der Einzelwiderstände Zahlenwerte angegeben, die für einen 90 mm-Extruder zutreffen. Die Bandbreiten der Zahlenwerte ergeben sich aus den Unterschieden, die durch den Betriebspunkt des Extruders, die Stoffwerte der verwendeten Materialien oder geometrische Abmessungen gegeben sind. So hängt z.B. der Wärmedurchgangswiderstand der Zylinderwand von der Wanddicke und der Wärmeleitfähigkeit des Zylinderstahls ab.

In diesem Beispiel ergibt sich ein Kehrwert des Gesamtwiderstands von

$$1/R_{\text{ges}} = 0,53 \text{ bis } 0,95 \text{ W / cm}^2 \text{ 100 K,}$$

zu lesen als Wärmestrom in W pro cm² Zylinderinnenfläche und pro 100 K Temperaturdifferenz zwischen Schmelze und Kühlluft. Bei einer Schmelzetemperatur von 220°C und einer Kühllufttemperatur von 20°C erhält man damit einen Wärmestrom von 1,06 bis 1,90 W / cm², den diese Heiz-/Kühl-Einheit über die Fläche der Heizbänder abführen kann.

Aus der Betrachtung als Reihenschaltung von Widerständen ergeben sich für die Intensivierung der Kühlung folgende Schlußfolgerungen: Die Verbesserung der Kühlwirkung ist gleichbedeutend mit einer Verringerung des Gesamtwiderstands R_{ges} bzw. einer Vergrößerung des Kehrwerts $1/R_{\text{ges}}$. Der Gesamtwiderstand ist immer größer als jeder einzelne Widerstand der Kette. Eine Verbesserung lässt sich am besten erreichen, indem die größten Einzelwiderstände verringert bzw. die kleinsten Kehrwerte vergrößert werden.

Die in Bild 6 genannten Zahlenwerte zeigen, dass es hier vor allem darauf ankommt, den Wärmedurchgang durch das Keramikheizband und den Wärmeübergang vom Heizband an die Kühlluft zu verbessern.

Bei den einleitend erwähnten Heiz-/Kühl-Einheiten mit Kupferbügeln, gezahnten Messing- oder Kupferblechen oder mit Föhnchen versehene Aluminiumschalen wird vor allem die Wärmeabgabe an die Kühlluft durch die große Oberfläche dieser Zusatzelemente verbessert, die Heizbänder sind unverändert. Jedoch erfolgt eine zusätzliche Leistungssteigerung durch das Ableiten des Wärmestroms aus dem Bereich unter den Heizbändern in die Zusatzelemente.

Neuentwicklungen bei luftgekühlten Heiz-/Kühl-Systemen

Die konsequente Umsetzung der oben beschriebenen Erkenntnis, dass die Kühlwirkung einer Heiz-/Kühl-Einheit vor allem durch eine Verbesserung des Wärmedurchgangs durch das Keramikheizband und des Wärmeübergangs vom Heizband an die Kühlluft gesteigert werden kann, ist bei der im Folgenden beschriebenen Neuentwicklung erfolgt.

Bei dieser werden gerippte Keramiksteine aus einer gut wärmeleitenden Sonderkeramik eingesetzt (Bild 7) [3]. Die Keramikrippensteine ermöglichen eine optimale Wärmeabfuhr auf dem kürzesten Weg von der Oberfläche des Extruderzylinders zwischen den Heizleitern hindurch in die Rippen der Steine und dann an die Kühlluft.

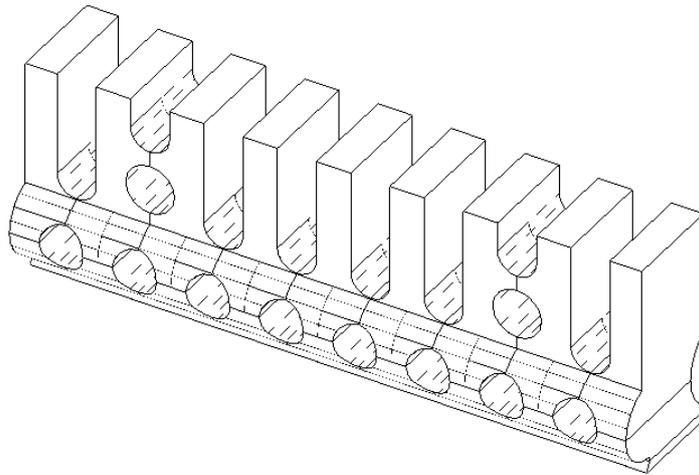


Bild 7a: Keramikrippenstein für Heiz-/Kühl-Einheiten der Bauart HK 214

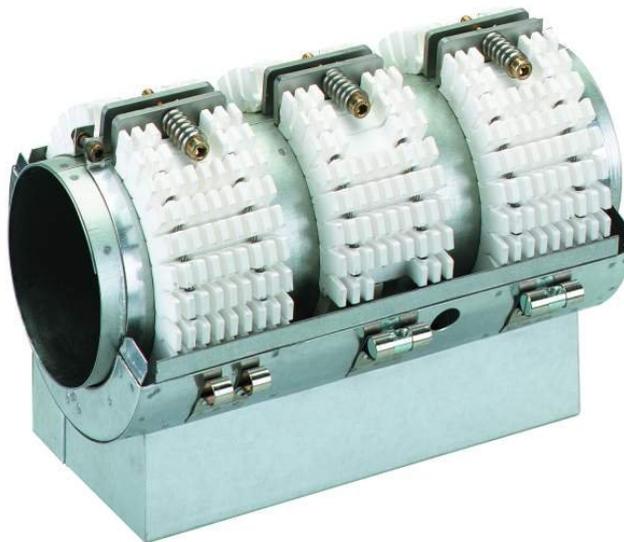


Bild 7b: Heiz-/Kühl-Einheit HK 214 mit Gehäuse (WEMA Beheizungstechnik GmbH)

In Tabelle 1 sind einige Eigenschaften der HK 214-Sonderkeramik im Vergleich zu der üblicherweise bei Keramikheizbändern verwendeten Steatit-Keramik aufgeführt.

Material		Steatite C221	HK 214-Sonderkeramik
Wärmeleitfähigkeit	[W/mK]	2-3	20-28
Bruchfestigkeit	[MPa]	140	200-300
Temperaturwechselbeständigkeit	[K]	100	140-150
spezifischer Durchgangswiderstand	[Ω m]	10^5	10^5 - 10^6

Tabelle 1: HK 214-Sonderkeramik im Vergleich zu herkömmlichen Steatit-Keramik

Die Wärmeleitfähigkeit von 20-28 W/mK ist ungefähr vergleichbar mit der von Edelstahl. Das ist weit niedriger als bei Aluminium (220 W/mK), Messing (100 W/mK) oder Kupfer (360 W/mK). Doch völlig ausreichend. Denn hier kommt wieder die oben erläuterte Reihenschaltung der Wärmeübergangs- und Wärmedurchgangswiderstände zum Tragen. Mit der Wärmeleitfähigkeit der HK 214-Sonderkeramik wird bereits 80% der maximal möglichen Wärmeabgabe erreicht (Bild 8). Mit noch besser wärmeleitenden Keramiken oder Metallen wären nur noch geringe Steigerungen möglich, weil dann die anderen, unveränderten Widerstände in der Reihenschaltung immer mehr an Bedeutung gewinnen. Die Verwendung von Metallen für die Rippensteine ist dabei ohnehin nur eine theoretische Überlegung, weil wegen der notwendigen Isolierung der stromdurchflossenen Heizdrähte nur elektrisch nicht leitende Materialien zulässig sind.

Insgesamt werden mit den Keramikrippensteinen bei Heiz-/Kühl-Einheiten gegenüber der konventionellen Bauweise mehr als doppelt so hohe Kühlleistungen erreicht. Im Vergleich zu Heiz-/Kühl-Einheiten mit Kupferbügeln, gezahnten Messing- oder Kupferblechen oder mit Föhnchen versehene Aluminiumschalen liegt die Kühlleistung im Bereich sehr guter Ausführungen dieser Bauarten.

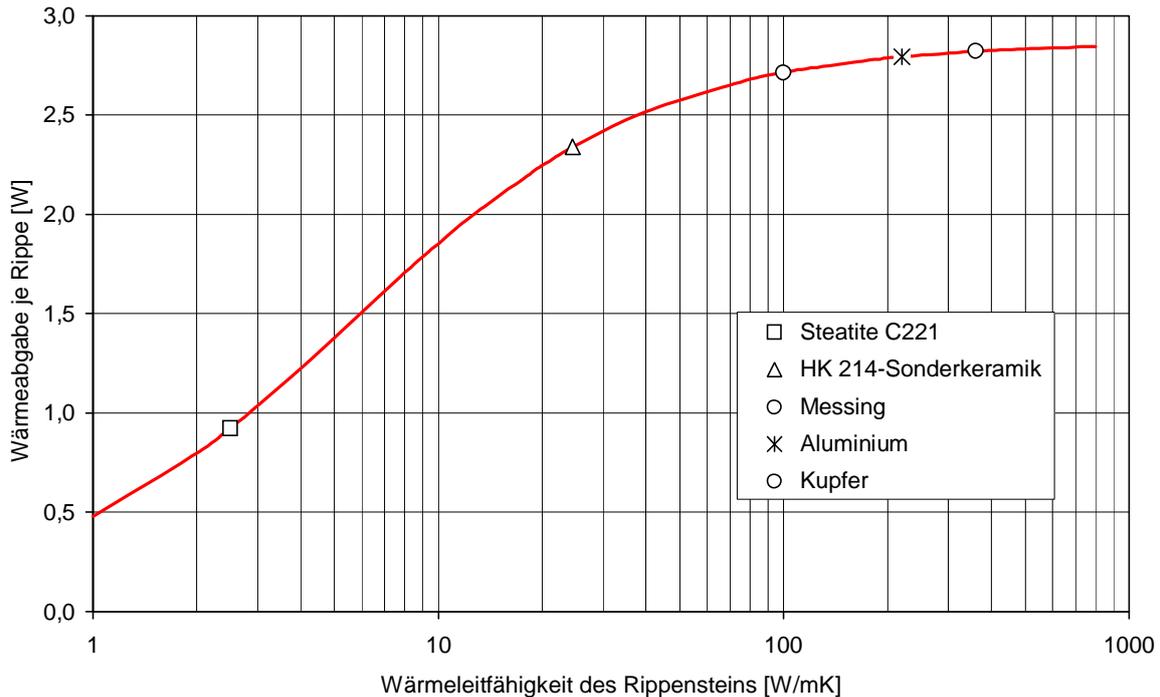


Bild 8: Wärmeabgabe einer Heiz-/Kühl-Einheit mit Rippensteinen bei verschiedenen Materialien für die Rippensteine

Wie bei herkömmlichen Keramikheizbändern lassen sich mit den Rippensteinen beliebig lange Gliederbänder herstellen, die sehr einfach an jeden Zylinderdurchmesser angepaßt werden können. Die Beheizung erfolgt dabei in der bekannten Weise durch Heizleiter, die in den Bohrungen der Steine verlaufen.

Vorteilhaft bei der neuen Bauform ist weiterhin der einfache Aufbau, der ein sehr flexibles Gliederband bildet, welches sich einfach montieren und gleichmäßig an den Extruderzylinder anlegen läßt. Die hohe Bruchfestigkeit der Sonderkeramik (s. Tabelle 1) erlaubt dabei hohe Spannkraften.

Durch den völligen Verzicht auf zusätzliche Aluminium-, Messing- oder Kupferbauteile werden die Montage weiter vereinfacht sowie ein Oxidieren oder Verzundern bei hohen Temperaturen vermieden [4]. Damit ist eine Basis für eine hohe Temperaturbelastbarkeit gegeben.

In der Praxis hat sich zudem gezeigt, dass gegenüber normalen Keramikheizbändern eine längere Lebensdauer der Heizleiter erreicht wird. Ausfälle sind äußerst selten. Offenbar ist dies eine weitere Auswirkung der gut wärmeleitenden Sonderkeramik, die eine lokale Überhitzung der Heizleiter verhindert.

Neue Anwendungsfelder für luftgekühlte Heiz-/Kühl-Systeme

Durch die hohe Kühlleistung, die z.B. mit Heiz-/Kühl-Einheiten auf Basis von Keramikrippensteinen erreicht wird, ist es in vielen Fällen möglich, wasser- oder ölgekühlte Systeme zu ersetzen. Dies geschieht heute sowohl bei neuen Extrudern als auch bei vorhandenen, bei denen oftmals die Aufgabe besteht, ältere, defekte Flüssigkeitskühlungen, die verkalkt oder undicht sind, durch die weitgehend wartungsfreien und einfacher aufgebauten, luftgekühlten Heiz-/Kühl-Systeme zu ersetzen.

Eine weitere neue Anwendung ist der Einsatz als Heiz-/Kühl-System bei genuteten Einzugsbuchsen von Einschneckenextrudern (Bild 9). Der Ersatz der bisher in diesen Zonen eingesetzten Wasserkühlungen wurde durch die hohe Leistungsfähigkeit der luftgekühlten Systeme im Zusammenspiel mit dem geringeren Kühlleistungsbedarf moderner Schnecken- auslegungen möglich.

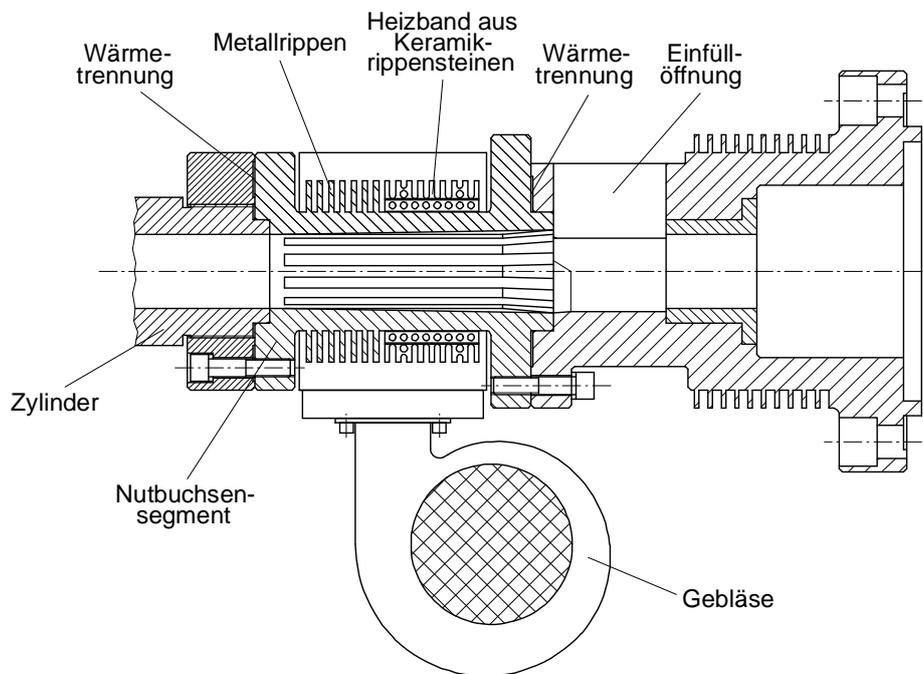


Bild 9: Luftgekühlte Nutbuchse mit Heiz-/Kühl-Einheit der Bauart HK 214
(ETA Kunststofftechnologie GmbH, Troisdorf)

Weitere Anwendungsfelder können sich für luftgekühlte Heiz-/Kühl-Einheiten auch an Extrusionswerkzeugen erschließen. Bei Extrudern ist es in einigen Anwendungsfällen üblich, die Zylinderkühlung nicht nur im laufenden Prozeß, sondern auch beim Stopp der Anlage zum schnelleren Abkühlen des Systems zu nutzen. Damit kann bei temperatur- und verweilzeitempfindlichen Kunststoffen ein Abbau und die Bildung von Ablagerungen verhindert werden.

Es gibt erste Ansätze, diese Strategie auch bei Extrusionswerkzeugen anzuwenden. Bild 10 zeigt eine Heiz-/Kühl-Einheit an einem Technikums-Rohrwerkzeug zur Herstellung mehrschichtiger Kraftstoffleitungen. Ein weiteres Ziel, neben der schnelleren Stillsetzung, ist hierbei die Einsparung von Spülmaterial.

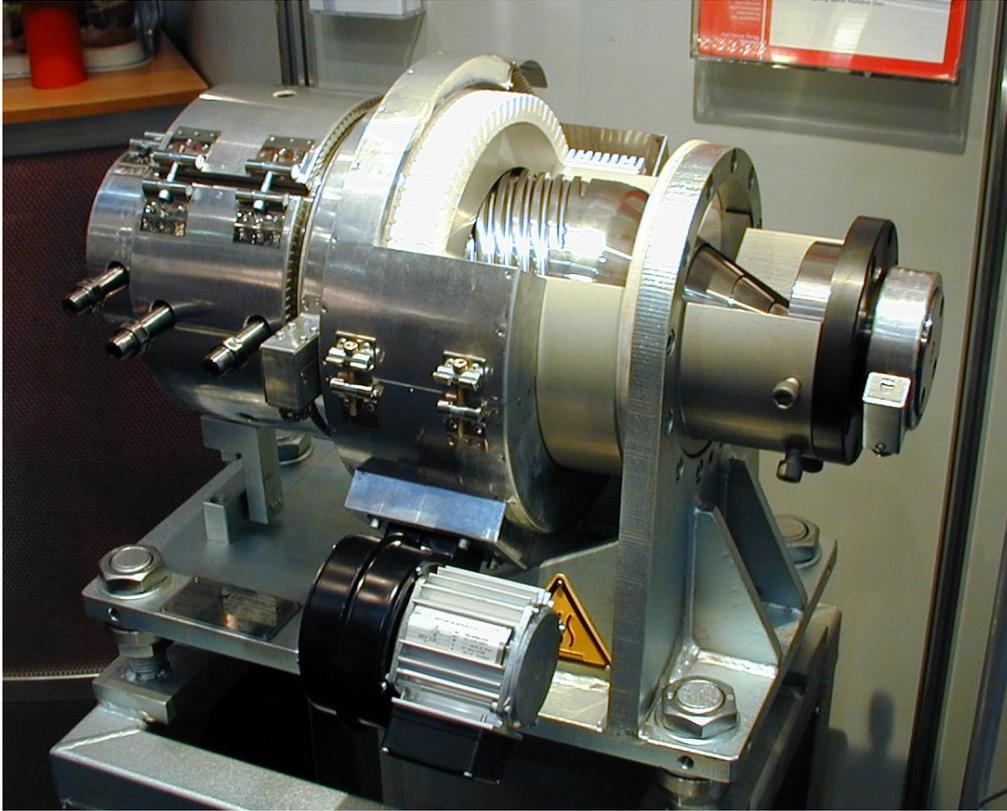


Bild 10: Rohrwerkzeug mit Heiz-/Kühl-Einheit (ETA Kunststofftechnologie GmbH, Troisdorf)

Erdgasbeheizte Extruderzylinder – Eine Alternative?

Während sich der bisherige Vortrag ausschließlich auf Systeme bezog, die mit elektrischen Widerstandsheizungen betrieben werden, soll nun der Primärenergieträger Erdgas als Medium zur Beheizung von Maschinenzylindern betrachtet werden.

Als Pilotprojekt zur Anwendung von Erdgas im Bereich der Kunststoffindustrie darf der erdgasbetriebene Granulattrockner der Firma MOTAN bezeichnet werden.

Hier ist es gelungen, das elektrisch betriebene Heizelement gegen ein Gasheizmodul auszuwechseln, ohne dass der Anwender Unterschiede in der Bauweise und Bedienung bemerkt. Sehr wesentlich unterscheiden sich jedoch die Betriebskosten, denn hier sind Einsparungen von bis zu 50 % realisiert worden, so dass sich die höheren Investitionskosten bereits nach kurzer Zeit amortisiert haben.

Aufgrund dieser erfolgreichen Umsetzung war es nahe liegend, weitere Einsatzmöglichkeiten im Bereich der Kunststoffverarbeitung zu untersuchen.

Der Bereich der Extrusionsmaschinen scheint hier ein interessantes Anwendungsfeld zu sein, da an den oftmals sehr großen Maschinenzylindern zum Teil sehr hohe Heizleistungen installiert sind und sich der Produktionsprozess für den Einsatz der Gasbeheizung am ehesten eignet.

Die neuartige Erdgasbeheizung für die Zylinderrohre von Extrusionsanlagen ist ein experimentell und numerisch optimiertes System auf der Basis von moderner Gasheiztechnik. Kernstück dieser neuen Anwendung ist ein Ringheizelement, dessen Innenfläche aus hitzebeständigem Metallgewebe besteht. Hier verbrennt das Erdgas mit sehr kurzen Flammen in einem gekapselten, nach außen thermisch isolierten Brennraum, wobei die Flammen den Maschinenzylinder nicht direkt berühren, sondern durch ein Reflektionsblech abgeschirmt sind.

Das eigentliche Medium zur Beheizung des Zylinderrohres ist die bei der Verbrennung entstehende, ca. 800°C heiße Abluft. Am Ende des Brennraumes wird die heiße Abluft umgelenkt und strömt in Gegenrichtung, dabei findet ein intensiver Wärmeaustausch statt. Auf diese Weise wird am gesamten Umfang des Zylinderrohres und in der Zonenlänge eine tangential und axial gleichmäßige Temperaturverteilung erreicht.

Im Kühlmodus wird ein durch ein herkömmliches Kühlgebläse erzeugter starker Luftstrom durch zwei tangentiale Öffnungen in den Brennraum eingedüst und durchläuft denselben Weg wie sonst die Verbrennungsluft. Im Brennraum bildet sich ein starker Drall, während im inneren Ringspalt eine hohe axiale Strömungsgeschwindigkeit entsteht. Die beiden Effekte tragen zu einer gleichmäßigen Kühlung bei.

Das Ringheizelement und der Kühlluft einlass sind mit entsprechenden Absperrvorrichtungen versehen, um die Rückströmung der Medien zu verhindern.

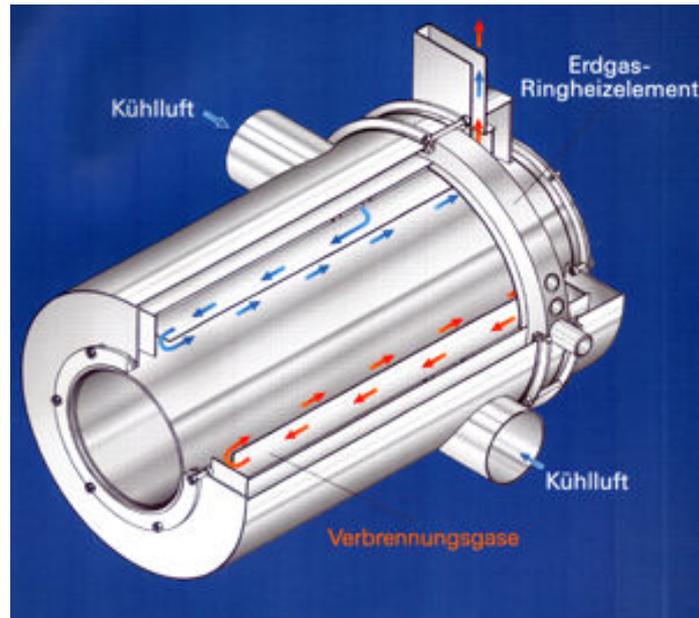


Bild 11: WEMA-Gasheizmodul (WEMA GmbH, Lüdenscheid)

Sicherheit und Zuverlässigkeit der Erdgasbeheizung

Eine vollintegrierte, bereits seit Jahren z. B. in der Hausgerätetechnik bewährte Gemischaufbereitung mit Leistungsregelung, Zündung und elektronischer Flammenüberwachung garantiert einen zuverlässigen und sicheren Betrieb der Erdgasbeheizung.

Der Anschluss erfolgt über einen flexiblen Gasschlauch und eine Gassteckdose.

Überwachungsfunktionen in der Sicherheitskette stellen sicher, dass das System erst dann in Betrieb geht, wenn alle Sicherheitsbedingungen erfüllt sind.

In vielen Produktionsstätten kommt Erdgas heute bereits neben der Raumbeheizung für diverse unterschiedliche Prozesse zum Einsatz, so dass die erforderliche Infrastruktur oftmals bereits vorhanden ist. Bei sachgerechter Installation ist Erdgas nicht nur wirtschaftlich sondern auch sicher. Da es leichter ist als Luft, würden sich bei Leckagen in Senken keine Pfützen mit zündfähigen Gemischen bilden, so wie es beispielsweise bei Propan oder Butan (bekannt als Flüssiggas oder Campinggas) vorkommen kann.

Bedenkt man, dass erdgasbeheizte Enteisungsanlagen für vollbesetzte Flugzeuge in Bereichen zugelassen sind, in denen nicht einmal geraucht werden darf, wird der heute erreichte hohe Sicherheitsstandard von Erdgastechniken deutlich.

Vorteile der Erdgasbeheizung

- hohes Potenzial zur Leistungs- und Temperatursteigerung
- höhere Aufheizgeschwindigkeiten
- integrierte Kühlfunktion
- Temperaturhomogenität im Zylinderrohr beim Heizen und Kühlen
- hohe verfügbare Anschlussleistung
- Möglichkeit zur Verbrennung von Entgasungsprodukten
- betriebsinterne Nutzung der Abluftwärme
- einfache Anlagentechnik mit hohem Sicherheitsstandard

Energie- und Kosteneinsparung

- Energiekostensenkung: mögliche Reduzierung des Produktendpreises
- Energieeinsparung durch Verwendung des Primärenergieträgers Erdgas
- Beitrag zur Senkung der CO₂-Emissionen (Öko-Audit)

Energiekostensenkung

Bei einem Extruder mit einer installierten Heizleistung von 80 kW (z. B. 8 Heizzonen je 10 kW) betragen die Stromkosten für die Beheizung jährlich ca. 16.000,-- EUR.

Durch Anwendung der Erdgasbeheizung können die Energiekosten auf etwa 40 %, das heißt ca. 6.500,-- EUR gesenkt werden.

Dadurch amortisieren sich die Mehrkosten der Erdgasbeheizung in relativ kurzer Zeit und es ergibt sich ein hohes Einsparpotenzial.

Ein Prüfling der Firma WEMA läuft seit einigen Monaten erfolgreich im Technikum.

In Zusammenarbeit mit einem namhaften Extrusionsmaschinenbauer erfolgt zur Zeit die Anpassung an eine bestimmte Extrudergröße und in der zweiten Jahreshälfte sollen weitere Praxisversuche durchgeführt werden, um diese Technik möglichst bald serienreif zu bekommen.

Literaturhinweise

- [1] Denisart, J.-P., Thevoz, E., Affolter, E.: Process and apparatus for cooling extruder barrel, Europäische Patentschrift EP 0 611 251
- [2] Wortberg, J., Michels, R.: Innovative Entwicklungen in der Einschneckenextrusion – Möglichkeiten und Grenzen der Hochleistungsextrusion, Der Einschneckenextruder – Grundlagen und Systemoptimierung, VDI-Gesellschaft Kunststofftechnik, 1997
- [3] Michels, R.: Vorrichtung zu Heizen und Kühlen von Extruderzylindern, Deutsche Patentanmeldung DE 198 55 357
- [4] Bittern, K.: Anwendungstechnische Vorteile neuartiger Heiz-/Kühleinheiten mit Keramikrippensteinen, Plastics Special 11/1999